

550. 2. Coupu J., Raulin J., Huer J. Investigation of hot ring rolling using 3D finite element simulation// Modeling of Metal Rolling Processes/- 1999, London. 3. Huer j., Noyes J-L., Coupu J. Three-dimensional finite-element simulation of hot ring rolling// Minerals, Metals and Materials Society.-2001.-P.249-258. 4. Davey K., Ward M.J. A practical method for finite element ring rolling simulation using the ALE flow formulation// International Journal Mechanical Science.- 2002.- V.44.-P. 165-190. 5. Song J.L., Dwson A.L., Jacob M.H., Brooks J., Beden I. Cupled thermo-mechanical finite element modeling of hot ring rolling process//Journal of Materials Processing Technology.- 2002.- V. 121.- P. 332-340. 6. Yan F.L., Hua L., Wu Y.-Q. Planning feed speed in cold ring rolling//International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2007.- V.47.-P. 1695-1701. 7. Сімсон Е. А., В.В. Овчаренко, В.И. Демидов, И.Д., Прево И.В., Назаренко С. А. Холодная раскатка заготовок подшипниковых колец// Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків, НТУ «ХПІ», 2011, №52 . с. 156-160 8. Yang H., Gu O.L., Zha N. M. Role of friction in cold ring rolling// Journal Mechanical Science and Technology.- 2005.- V.21, №6.-P. 914-920. 9. Sun Z.-C., Yang H., Ou X.-Z. Thermo-mechanical coupled analysis of hot rolling process// Trans actions of Noferrous Metals Society of China.- 2008.- V. 18.- P. 1216-1220. 10. Wagoner R.H., Chenot J.-L. Metal forming analysis//Cambridge University Press, Cambridge.-2001.- P. 11. Yu-Kan Hu, Wing Kam Lin. ALE finite element formulation for ring rolling analysis//International Journal of Numerical Methods in engineering. - 1992.- V.33. - P. 1217-1236.

Поступила до редколегії 04.11.2013 г.

УДК539

Влияние трения на напряженно-деформированное состояние кольца при холодной раскатке / Симсон Э. А., Scicluna Steven, Хавин В. Л., Автономова Л. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С. 206-211. Бібліогр.: 11 назв.

Розглянуто задача чисельного моделювання процесу холодного розкочування підшипникових кілець. Приведена математична постановка у вигляді вирішуючої системи рівнянь. У тривимірній постановці чисельно методом скінченних елементів за допомогою пакету DEFORM при різних коефіцієнтах тертя вирішена контактна задача для операції розкочування кільця.

Ключові слова: математичне моделювання, кільце, контактна задача, тертя, пластичні деформації, кінцевий елемент.

It is considered the problem of numerical modeling of cold rolling bearing rings. The resolved equations of mathematical formulation is provided. In the three-dimensional formulation contact problem is solved numerically for different coefficients of friction by using a finite element software DEFORM.

Keywords: mathematical modeling, ring, contact problem, friction, plastic deformation, finite element.

УДК 621.774.36

С. Л. СТАСЕВСКИЙ, директор института, ГП «УКРГИПРОМЕЗ»,
Днепропетровск;

Ю. Д. УГРЮМОВ, канд. техн. наук, вед. инженер, ГП «УКРГИПРОМЕЗ»,
Днепропетровск;

Д. Ю. ГАРМАШОВ, канд. техн. наук, вед. инженер, ПАО «ИНТЕРПАЙП
НТЗ», Днепропетровск;

А. А. КСЁНЗ, инженер-технолог, ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ»,
Днепропетровск.

ПУТИ УМЕНЬШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРЕЗИ НА ПИЛИГРИМОВОМ СТАНЕ

Рассмотрены методы уменьшения массы пилигримовых головок при прокатке толстостенных и тонкостенных труб. Выполнены промышленные исследования при прокатке труб размером 245×10

мм с применением специального дорнового кольца, обеспечивающего докатку пилигримовой головки без цилиндрического участка на заднем конце гильзы.

В результате исследований установлено, что экономия металла на одной гильзе составляет примерно 30 кг. Новая технология внедряется в производство для всех размеров труб.

Ключевые слова: труба, стан, пилигримовая прокатка, инструмент, дорн, пилигримовая головка.

Введение. В связи с особенностями технологии прокатки труб на пилигримовых станах имеют место большие потери металла в технологическую обрезь, которая состоит из отделяемых переднего, так называемого, затравочного конца и недокатанного заднего конца гильзы, так называемой, пилигримовой головки. Потери металла в технологическую обрезь составляют 8-10% массы исходной заготовки. При этом доля потерь металла в затравочный конец составляет 23-25 %, а в пилигримовую головку 75-77 %.

Стоимость металла составляет 75-80 % в себестоимости горячекатаных бесшовных труб, поэтому снижение потерь металла в технологическую обрезь является одной из важнейших задач повышения эффективности и конкурентоспособности пилигримовых станов.

Особенно важное значение эта проблема приобрела после перехода на использование в качестве исходной заготовки непрерывнолитого металла.

Настоящая работа посвящена вопросу снижения потерь металла в пилигримовую головку, основного резерва снижения технологической обрезки.

Анализ опубликованных научных исследований. Несмотря на то, что за более чем 100-летний период существования способа горячей пилигримовой прокатки труб было предложено значительное количество технических решений, направленных на снижение массы пилигримовой головки эта проблема не решена до настоящего времени, особенно для прокатки тонкостенных труб с толщиной стенки $S \leq 20$ мм.

Известен ряд способов экономии металла в технологическую обрезь за счет снижения массы отрезаемой пилигримовой головки [1-4]:

- применение специальных дорновых колец;
- применение сборных заготовок;
- предварительная подготовка заднего конца гильзы;
- прокатка гильз встык;
- специальная калибровка хвостовика дорна;
- раскатка пилигримовой головки на свободном участке дорна и др.

В настоящее время эти методы используются преимущественно при прокатке толстостенных труб ($S \geq 20$ мм).

В работе [5] подробно исследованы вопросы прокатки гильз встык на пилигримовом стане толстостенных труб. Эти исследования были выполнены сотрудниками Всесоюзного заочного машиностроительного института под руководством Ю.Ф. Шевакина на ТПА 6-12" Нижнеднепровского трубопрокатного завода. В последствие этот метод был внедрен на всех ТПА с пилигримовыми станами СССР.

На ТПА 8-16" с пилигримовых станях Челябинского трубопрокатного завода, наряду с вышеприведенными, получили развитие следующие методы:

применение отдельно нагреваемых углеродистых колец с последующим надеванием их на дорн при прокатке труб из легированных и специальных марок сталей, использование углеродистых внутренних «рубашек», прокатка углеродистых труб из гильз с концевыми участками меньшего диаметра, прокатке труб из сварных заготовок и др. [6].

Вопросам пилигримовой прокатки труб с раскаткой пилигримовой головки на свободном участке дорна, посвящена работа [7], в которой сформулированы условия осуществления такого процесса. Более подробно этот процесс рассмотрен в работе [4].

Анализ литературы показывает, что проблема снижения потерь металла в пилигримовую головку продолжает оставаться актуальной и в настоящее время, особенно при прокатке тонкостенных труб ($S \leq 20$ мм).

В то же время для прокатки толстостенных труб ($S \geq 20$ мм) существует значительное количество способов снижения массы пилигримовой головки и даже полной ее раскатки, которые отличаются большей или меньшей трудоемкостью.

Проблема уменьшения массы пилигримовой головки при прокатке тонкостенных труб обусловлена особенностями существующей технологии прокатки и снятия раската с дорна после прокатки.

Как известно, особенностью процесса горячей пилигримовой прокатки труб является раскатка гильзы валками периодического профиля с подпором со стороны подающего аппарата. Это обуславливает необходимость определенного недоката заднего конца гильзы, образующего пилигримовую головку, составляющую большую часть технологической обрезки на пилигримовом стане. Попытки раскатки пилигримовой головки на свободном участке дорна за счет его предварительного извлечения из раската на расстояние 1,2-1,5 м приводят к тому, что в результате прокатки гильзы в тонкостенную трубу ($S \leq 20$ мм), не обеспечивается надежное снятие трубы с дорна с помощью шибберного устройства из-за смятия заднего конца трубы.

Кроме того, такой метод является значительно более трудоемким, увеличивает вспомогательное время прокатки и снижает производительность стана.

Постановка задачи. Задачей настоящей работы является выбор наиболее рационального способа уменьшения массы пилигримовой головки путем проведения теоретических и экспериментальных исследований.

Изложение результатов работы. После прокатки гильзы с наружным D_r и внутренним d_r диаметрами на пилигримовом стане раскат или «плеть» имеет вид, приведенный на рис. 1.

При этом передний конец трубы длиной ℓ_{zm} называется затравкой, задний конец – длиной ℓ_{nr} – пилигримовой головкой. Годная часть раската (плети) длиной ℓ_{rg} после отделения в обрезь затравки и пильгерголовой, состоит из мерных частей ℓ_m , при этом $\ell_{rg} = (1 \dots 3) \times \ell_m$. Наружный и внутренний диаметра годной трубы будут соответственно D_n и d_n .

Длина затравки ℓ_{zt} в свою очередь состоит из двух ℓ_1 – длина переднего разлохмаченного конца трубы и ℓ_2 – участка трубы с повышенной разностенностью.

Длина пилигримовой головки ℓ_{nr} в свою очередь состоит из длины недокатанного цилиндрического участка заднего конца гильзы ℓ_n и переменной части ℓ_r , изменяющейся от D_r к D_n . Зачастую в обреш заднего конца раската, увеличивающего длину ℓ_{nr} , относится участок трубы, примыкающий к пильгерголовке, имеющий повышенную разностенность.

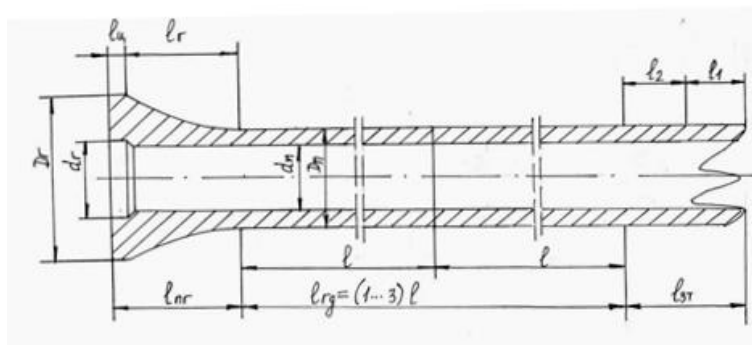


Рис. 1 – Прокатанная труба (плеть) на пилигримовом стане

Рассмотрим особенности прокатки труб в зависимости от отношения D/S на пилигримовом стане и технические решения, направленные на снижение потерь металла в пилигримовую головку.

Прокатка толстстенных труб на пилигримовом стане ($D/S \leq 4-15$).

Для снижения массы пильгерголовок при прокатке толстстенных труб с толщиной стенки ($S_n \geq 20$ мм) применяются два основных метода, получивших наибольшее распространение на практике [1-6]:

- метод прокатки гильз встык;
- метод раскатки пильгерголовки на свободном участке дорна.

Метод прокатки гильз встык заключается в последовательной стыковке на дорне недокатанной гильзы и очередной гильзы (рис. 2).

После прокатки трубы 1 на дорне остается недокатанным задний конец гильзы, называемый пилигримовой головкой 2. Затем дорн извлекают из раската и подают очередную гильзу 3 на новом дорне 4, которую стыкуют с торцом предыдущей гильзы, с последующей раскаткой пилигримовой головки 3.

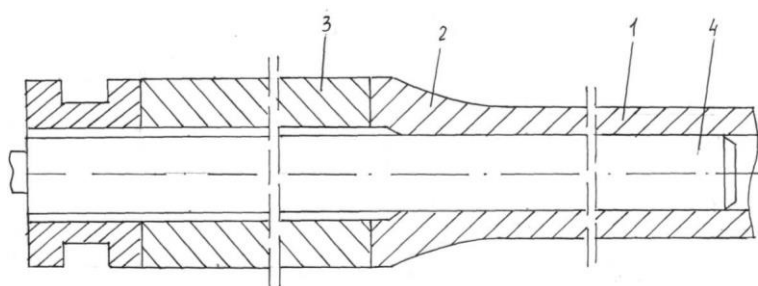


Рис. 2 – Схема прокатки гильз встык:

1 – труба; 2 – пилигримовая головка; 3 – вторая гильза; 4 – дорн

При этом пилигримовая головка полностью раскатывается, а задний конец трубы обрезается по длине 50-70 мм в отделочной части цеха.

Особенностью второго метода (рис. 3) является раскатка пильгерголовки на свободном участке дорна. После прокатки трубы 1 на дорне 2 остается недокатанным задний конец гильзы 3 (пильгерголовка). Процесс прокатки останавливается и осуществляют извлечение дорна 2 из раската на величину $\ell = 1,2 - 1,5$ м с помощью шиберного устройства 4. Затем осуществляют раскатку пильгерголовки 3 на дорне 2 без подпора со стороны подающего аппарата. В результате пильгерголовка 3 раскатывается в трубу 5 с объемом V_m . Последующее извлечение дорна 2 из трубы 5 осуществляется с помощью того же шиберного устройства 4. Длина ℓ_m полученной трубы из пильгерголовки определяется из равенства объемов пильгерголовки V_{nr} и участка V_m .

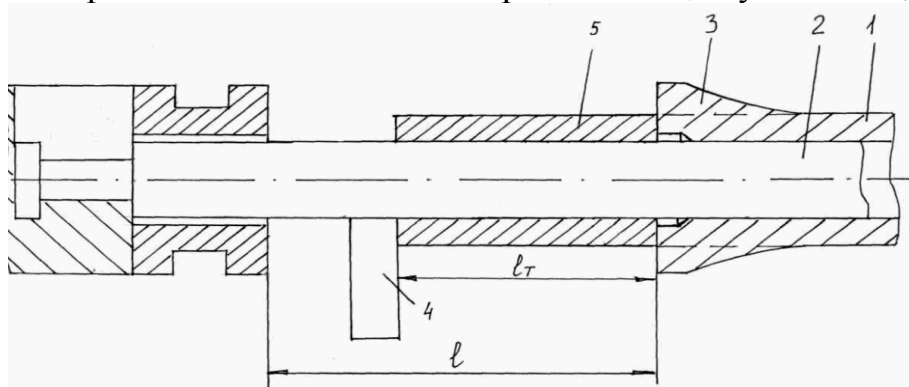


Рис. 3 – Схема прокатки пильгерголовки на свободном участке дорна: 1 – труба; 2 – дорн; 3 – пильгерголовка; 4 – шибер; 5 – участок раскатанной трубы из пильгерголовки

Каждый из этих двух методов имеет свои преимущества и недостатки. При этом второй метод в основном применяется для раскатки пильгерголовки на последней гильзе в парии, остальные при этом раскатываются методом встык, то есть второй метод служит дополнением первого.

Прокатка тонкостенных труб на пилигримовом стане ($D/S \geq 20$).

Для снижения массы пилигримовых головок при прокатке тонкостенных труб (с толщиной стенки $S_n \leq 20$ мм) известно несколько методов (рис. 4).

При этом предварительно уменьшают поперечное сечение на заднем конце гильзы за счет уменьшения ее наружного диаметра (рис. 4а), или со стороны внутреннего диаметра (рис. 4б).

Подготовку задних концов гильз согласно этим двум методам осуществляют в процессе прошивки гильз на косовалковом стане. Согласно первому методу такую подготовку осуществляют сведением рабочих валков с получением конического или цилиндрического утоненного заднего конца гильзы [8].

По второму методу подготовку заднего конца гильзы осуществляют перемещением оправки прошивного стана при окончании процесса прошивки в направлении противоположном перемещению гильзы [9].

Согласно третьего метода уменьшение массы пильгерголовки осуществляют непосредственно на пилигримовом стане при прокатке заднего

конца гильзы на дорне с увеличенным диаметром хвостовика под пильгерголовой [10]. При этом уменьшение массы пильгерголовой ограничено максимальным диаметром конического хвостовика, который не может превышать внутренний диаметр гильзы. Экономия металла на одной пильгерголовой составляет 5-10 кг в зависимости от размера труб.

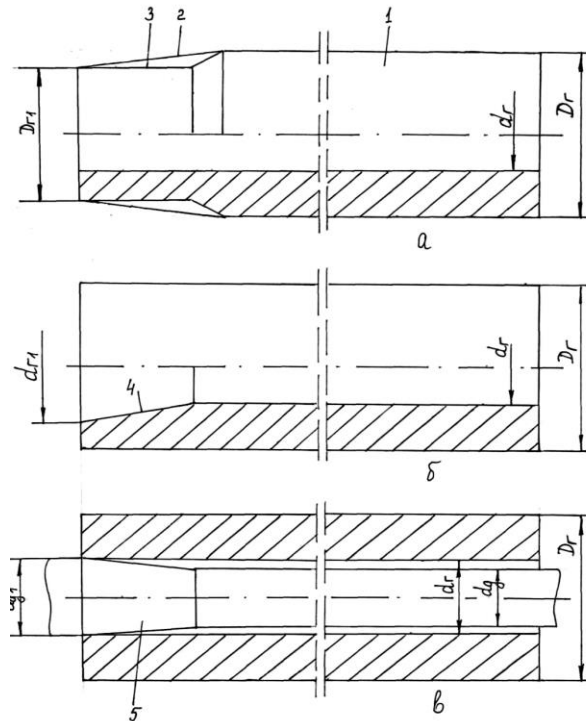


Рис. 4 – Варианты подготовки задних конусов гильз перед пильгерголовой прокаткой: а и б – на прошивном косовальковом стане; в – на пильгерголовом стане; 1 – основная часть гильзы; 2 и 3 – варианты уменьшения наружного диаметра на заднем конце гильзы; 4 – уточнение заднего конца гильзы со стороны внутреннего диаметра; 5 – конический хвостовик дорна

Анализ этих трех методов показывает, что второй метод утонения заднего конца гильзы (рис. 4 б) расширяет технологические возможности процесса прошивки для получения гильз с утоненным задним концом со стороны внутреннего диаметра и обеспечивает более полное уменьшение массы пильгерголовой. При прокатке тонкостенных труб небольшой партии из специальных марок сталей иногда используют метод заключающийся в том, что задний конец гильзы 1 раскатывают с применением специального дорнового кольца 2 на дорне 3 (рис. 5).

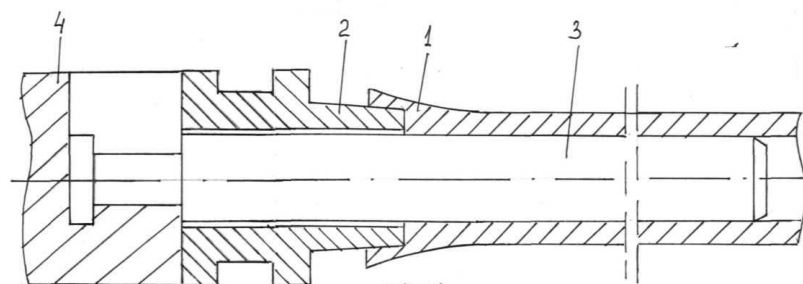


Рис. 5 – Использование дорнового кольца для максимального уменьшения массы пильгерголовой: 1 – пильгерголова; 2 – дорновое кольцо; 3 – дорн; 4 – дорновой замок

Вследствие отсутствия подпора на части торца гильзы под действием валков происходит (на рисунке не показаны) течение металла в направлении дорнового замка 4. В результате задний конец гильзы, уменьшаясь в диаметре, оковывает конический участок дорнового кольца, что приводит к уменьшению массы пилигримовой головки из специальной стали. При этом дорновое кольцо, выполненное из углеродистой марки стали используется одноразово, так как обрезается вместе с уменьшенной пильгерголовой.

При прокатке тонкостенных труб на пилигримовом стане для снижения разностенности труб важное значения имеет концентричное положение гильзы 1 на дорне 2, что может быть достигнуто в результате применения, например, калибровки дорна с коническим хвостовиком 3 под пильгерголовой и устранение зазора между передним концом 4 гильзы и дорном 2 (рис. 6).

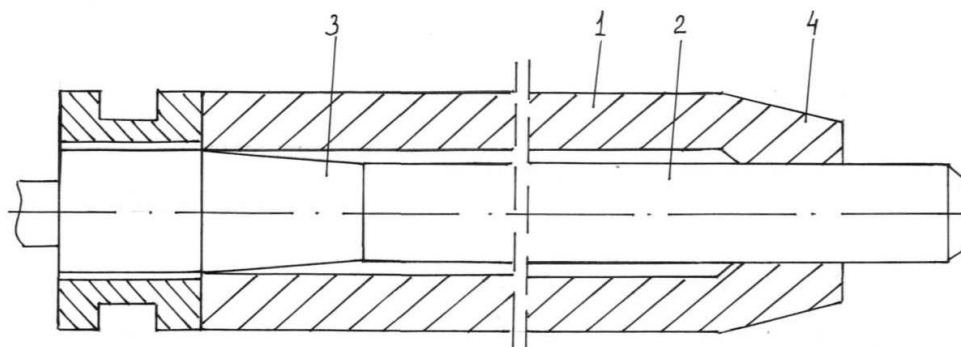


Рис. 6 – Гильза на дорне перед пилигримовой прокаткой: 1 – гильза; 2 – дорн; 3 – конический хвостовик дорна; 4 – передний конец гильзы

Для обеспечения стабильности окончания процесса прокатки гильзы, а также надежного извлечения дорна после прокатки с помощью шиберного устройства целесообразно осуществлять докатку пилигримовой головки с полной раскаткой цилиндрического участка (рис. 1) без деформации периодической части пильгерголовой длиной ℓ_r (рис. 7).

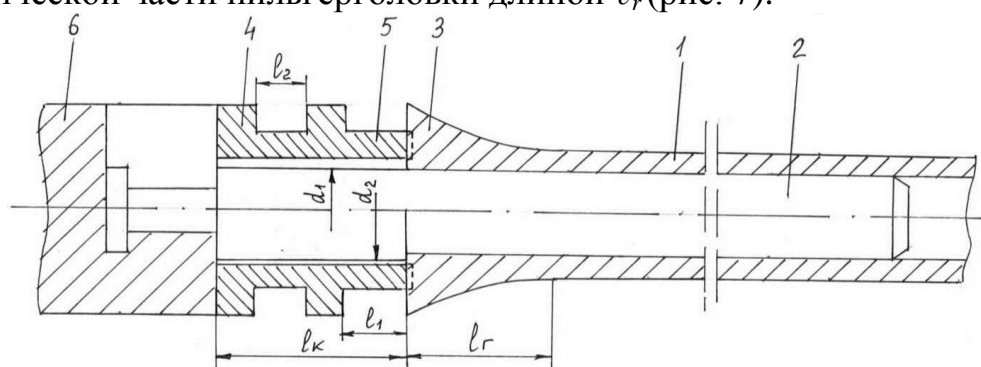


Рис. 7 – Схема прокатки трубы с применением специального дорнового кольца:
1 – труба; 2 – дорн; 3 – пильгерголова; 4 – дорновое кольцо;
5 – дополнительный цилиндрический участок кольца; 6 – дорновой замок

Для проведения промышленных исследований прокатки труб размером 245×10 мм был предложен пилотный проект специального дорнового кольца.

Схема прокатанной трубы с дорновым устройством приведена на рис. 7. Труба 1 после прокатки на дорне 2 валками (на рисунке не показаны) имеет

недокатанный задний конец 3 длиной ℓ_r . Специальное дорновое кольцо 4 имеет дополнительный цилиндрический участок 5 длиной $\ell_1=150$ мм; $\ell_2 = 180$ мм. При этом общая ширина дорнового кольца $\ell_k = 450$ мм. Наружный диаметр участка 4 дорнового кольца составляет $\sim 0,8$ диаметра гильзы D_r .

Для раскатки пильгерголовки без цилиндрического участка на заднем конце гильзы (обычно равен 50-70 мм) необходимо обеспечить точную остановку гильзы в крайнем переднем положении, что не обеспечивалось на действующих подающих аппаратах.

ЦЛАМ завода разработал информационную систему остановки гильзы в заданном положении, которая была внедрена на пилигримовых станах № 1 и № 2 для проведения промышленных исследований (рис. 8).

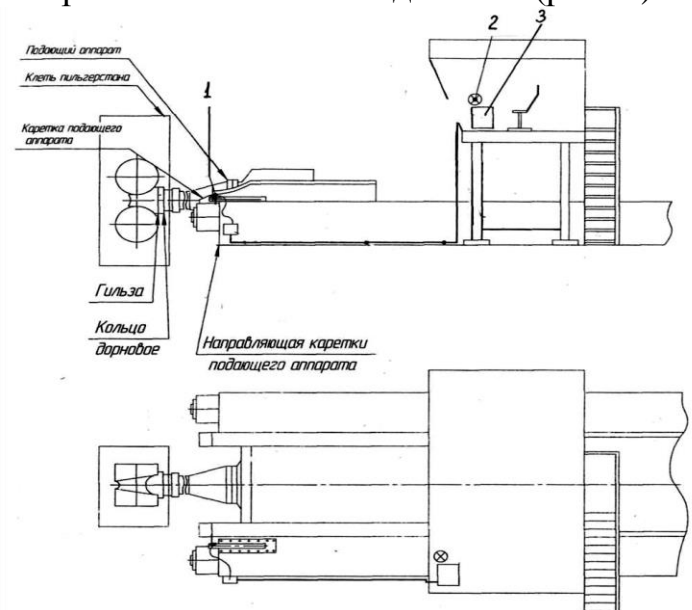


Рис. 8 – Информационная система остановки каретки подающего аппарата в заданном положении: 1 – щеточный датчик; 2 – светильник ПСХ – 60 МУЗ; 3 – шкаф управления

При проведении исследований было установлено, что под действием осевых усилий цилиндрический участок 5 (рис.7) дорнового кольца 4 внедряется в торец гильзы до 10 мм. При использовании дорна диаметром d_1 под дорновым кольцом 4 вследствие повышенного зазора между ними имели место случаи осаживания участка 5 кольца валками при докатке пильгерголовки, что приводило к деформации участка 5 кольца и обжатию его на дорне. По предложению начальника отдела ОРТП ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» А.В. Чуева был увеличен диаметр дорна $d_2 > d_1$ под кольцом 4, что значительно уменьшило число случаев повреждений колец. При этом критерием для надежной работы является ограничение докатки пильгерголовки.

Извлечение дорна из раската после прокатки осуществлялось с помощью шибера устройства, вводимого в кольцевую проточку шириной ℓ_2 шибера (на рисунке не показан), и перемещение дорна 2 с помощью подающего аппарата через дорновой замок 6 (рис.7).

Для определения эффективности использования новой технологии прокатки труб, отбирались отдельные пильгерголовки, которые взвешивались

на платформенных весах. Кроме того, все пильгерголови прокатанной партии труб взвешивались на автомобильных весах.

В результате сравнительного анализа прокатки труб размером 245×10 мм с обычными и докатанными пильгерголовками было установлено, что снижение массы пильгерголовок при прокатке по новой технологии составляет примерно 30 кг на одной гильзе.

Выводы.

1. Особенностью пилигримовой прокатки является наличие недокатанного заднего конца гильзы, так называемой, пилигримовой головки, удаляемой в обреш, что приводит к существенной потере металла 4-6 % от массы исходной заготовки и является одним из главных резервов увеличения выхода годного при пилигримовой прокатке и повышения конкурентоспособности процесса.

2. Рассмотрены основные методы уменьшения массы пилигримовой головки при прокатке толстостенных и тонкостенных труб и оценена эффективность их использования.

3. Проведены промышленные исследования прокатки труб размером 245×10 мм на пилигримовом стане ТПА 5-12" ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» с применением специального дорнового кольца.

4. Установлено, что при использовании предложенного дорнового кольца при докатке пилигримовой головки без цилиндрического участка на заднем конце гильзы, экономия металла составляет около 30 кг на одной гильзе. Предложенная технология внедряется при прокатке труб всего сортамента.

Список литературы: 1. Пути снижения массы пильгерголови при горячей прокатке труб / В.Ф. Балакин, Ю.Д. Угрюмов, Д.Ю. Угрюмов. Теория и практика металлургии, 2012, № 1-2, с. 32-36. 2. Методы уменьшения массы пильгерголови при горячей прокатке труб / Ю.Д. Угрюмов, В.Ф. Балакин, Д.Ю. Угрюмов, В.И. Семешкин. ОАО «Черметинформация», Бюллетень «Черная металлургия», 2011, № 10, с. 68-77. 3. Металлосберегающие технологии при производстве труб на трубопрокатных агрегатах с пилигримовыми станами / В.В. Березовский, Ю.Д. Угрюмов, Д.Ю. Угрюмов ОАО «Черметинформация», Бюллетень «Черная металлургия», 2003, Приложение 7, – 15 с. 4. Экономия металла при производстве труб нефтяного сортамента / А.А. Чернявский, В.В. Березовский, Ю.Д. Угрюмов. – М.: Металлургия, 1987, – 394 с. 5. Экономия металла при горячей прокатке труб на пилигримовых станах / Ю.Ф. Шевакин, Б.Н. Матвеев, Г.А. Бибик, и др. Сталь, 1971, № 1, с. 53-56. 6. Пути снижения расхода металла при производстве труб на установках с пилигримовыми станами / Н.П. Карпенко, И.И. Сергеев, А.В. Сафьянов и др. Сталь, 1978, № 8, с. 738-741. 7. Пилигримовая прокатка труб с раскаткой пильгерголови / В.Н. Данченко, А.А. Чернявский, В.А. Постный и др. Металлургия и коксохимия, (Киев), 1981, № 71, с. 82-85. 8. Пат. № 2151658 РФ. Способ производства бесшовных труб / А.А. Федоров, А.В. Сафьянов, Л.И. Лапин и др. 2000, Б.И. № 21. 9. Пат. № 2138348 РФ. Способ горячей прокатки бесшовных тонкостенных труб / Б.И. Тартаковский, Н.П. Рябихин, М.А. Минтаханов и др. 1999, Б.И., № 27. 10. Дорн с коническим хвостовиком / А.В. Праздников, А.М. Иоффе, А.А. Чернявский и др. Бюллетень ЦИИ НЧМ, 1963, № 21, с. 39-40.

Поступила до редколегії 26.11.2013 г.

УДК 621.774.36

Пути уменьшения технологической обреш на пилигримовом стане / Стасевский С. Л., Угрюмов Ю. Д., Гармашов Д. Ю., Ксёз А. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С. 211-220. Бібліогр.: 10 назв.

Розглянуто методи зменшення маси пілігримових головок при прокатці товстостінних і тонкостінних труб. Виконано промислові дослідження при прокатці труб розміром 245×10 мм із застосуванням спеціального дорнового кільця, що забезпечує докатку пильгерголови без циліндричного ділянки на задньому кінці гільзи.

У результаті досліджень встановлено, що економія металу на одній гільзі становить приблизно 30 кг. Нова технологія впроваджується у виробництво для всіх розмірів труб.

Ключові слова: труба, стан, пілігрімова прокатка, інструмент, дорн, пілігрімова голівка.

The methods of weight reduction pilgrim heads rolling thick- and thin-walled tubes. Industrial research carried out by rolling pipe size 245 × 10 mm using a special arbor rings providing dokatku pilgergolovki without the cylindrical portion at the rear end of the sleeve.

The studies revealed that the savings on a metal sleeve is approximately 30 kg. New technology is being introduced into production for all pipe sizes.

Keywords: pipe mill, pilgrim rolling, tool mandrel, pilgrim head.

УДК 621.983

В. І. СТЕБЛЮК, докт., техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ;

О. В. ХОЛЯВІК, канд., техн. наук, ас., НТУУ «КПІ», Київ.

РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ РОЗМІРІВ І ФОРМИ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ВИТЯГУВАННЯ КОРОБЧАСТИХ ВИРОБІВ

В статті наведено аналітичний метод для визначення розмірів і форми заготовок при витягуванні коробчастих виробів з використанням методу потенціалу. Проведені експериментальні та теоретичні дослідження підтвердили можливість розвитку методів визначення розмірів і форми заготовок при витягуванні коробчастих виробів за рахунок використання методу потенціалу; показали задовільну кореляцію між собою результатів, отриманих експериментально та розрахованих за допомогою програмних засобів, розроблених на основі відповідних математичних моделей процесів.

Ключові слова: витягування, коробчасті вироби, моделювання, «зворотне» витягування, «обернений» процес, метод потенціалів, оптимальна форма заготовки, розрахунок заготовки, проміжні переходи.

Вступ. До сьогодні не існувало єдиного загального методу визначення розмірів і форми заготовки для витягування деталей коробчастої форми. Але у довідковій літературі наведено велику кількість рекомендацій різних авторів, що базуються на різноманітних припущеннях для різних співвідношень параметрів коробчастих деталей [1-4]. До того ж алгоритм розрахунку та побудови заготовок відрізняється не лише у різних авторів, але і в межах рекомендацій одного автора в залежності від відносних розмірів деталей (рис. 1.).



$$m_{об} = \frac{4B}{\pi D} \quad m_{об} = \frac{2(A+B)}{\pi D} \quad m_{об} = \frac{2(A+B)}{0,5\pi(L+K)} \quad \frac{S}{D} \cdot 100 \quad \frac{S}{(L+K)} \cdot 200 \quad m_{cp} = \frac{B-0,43r}{0,5\pi R_{b_{n-1}}}$$

$$R_{b_{n-1}} = \frac{B-0,43r}{1,57m_{cp}} \quad b_n = R_{b_{n-1}} - 0,5B = \frac{\left(1 - 0,785m_{cp} - 0,43 \frac{r}{B}\right)B}{1,57m_{cp}} \quad \frac{S}{B} \cdot 100 \geq 2 \quad B \leq 50S$$

Рис. 1 – Способи побудови переходів при багатоопераційному витягуванні квадратних коробчастих виробів по Романовському В.П. [1]